

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-145634

(43)Date of publication of application : 22.05.2002

(51)Int.Cl.

C03B 37/012

C03B 37/014

G02B 6/00

G02B 6/20

(21)Application number : 2001-253419

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 23.08.2001

(72)Inventor : HASEGAWA TAKEMI
ONISHI MASASHI
SASAOKA HIDEYORI
NISHIMURA MASAYUKI

(30)Priority

Priority number : 2000261580

Priority date : 30.08.2000

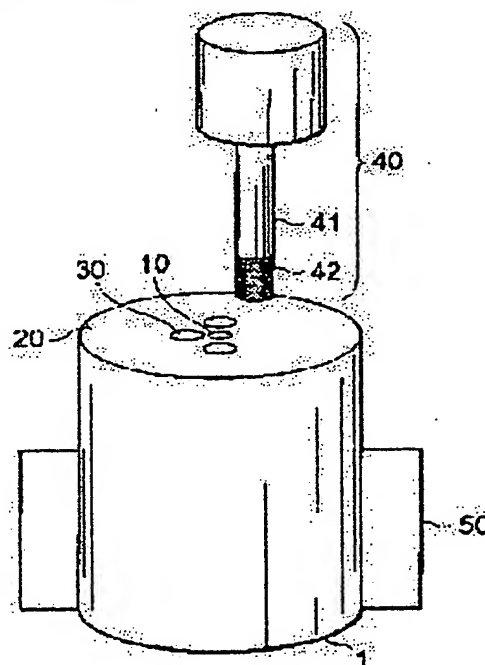
Priority country : JP

(54) METHOD OF MANUFACTURING OPTICAL FIBER AND OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of manufacturing an optical fiber which is capable of effectively controlling the pressure in holes.

SOLUTION: In a piercing process step, a front end 42 is brought into contact with the end face of a preform 1 fixed by a fixing means 50 and thereafter the front end 42 is rotated about the axis of rotation parallel to an axial direction. The front end 42 is then successively infiltrated into the preform 1 as a prescribed speed, by which the hole 30 extending along the axial direction is formed. In a drawing process step, the end 3 of the preform 1 is pulled by a traction means 61 while the preform is subjected to heat treatment by a heating means 62, by which the preform is drawn to the optical fiber 2. At this time, the pressure in the hole 30 of the preform 1 is regulated by a pressure transmission means 64 and a coupling means 63 by a pressure regulating means 65.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-145634

(P 2002-145634A)

(43) 公開日 平成14年5月22日(2002.5.22)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト (参考)
C 0 3 B	37/012	C 0 3 B	37/012 Z 2H050
	37/014		37/014 Z 4G021
G 0 2 B	6/00	G 0 2 B	6/00 3 5 6 A
			3 7 6 Z
	6/20		6/20 Z
審査請求 未請求 請求項の数 17		O L	(全 1 2 頁)

(21) 出願番号 特願2001-253419(P2001-253419)

(22) 出願日 平成13年8月23日(2001.8.23)

(31) 優先権主張番号 特願2000-261580(P2000-261580)

(32) 優先日 平成12年8月30日(2000.8.30)

(33) 優先権主張国 日本(JP)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 長谷川 健美

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 大西 正志

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

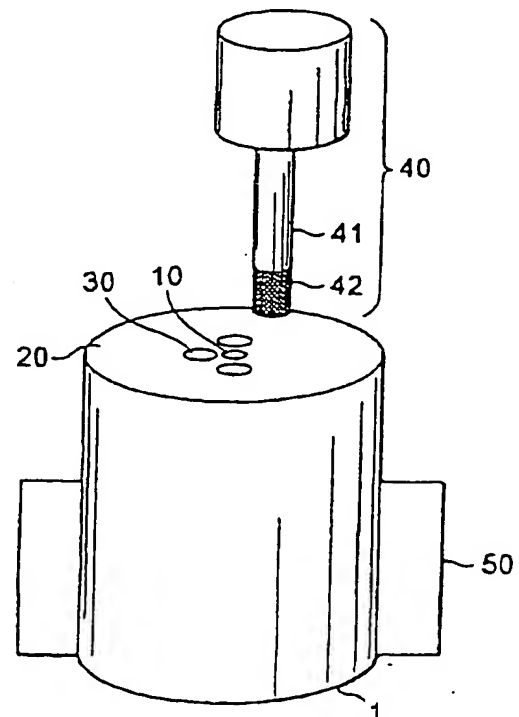
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバの製造方法、及び、光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 空孔内の圧力を効果的に制御することが可能な光ファイバの製造方法を提供する。

【解決手段】 穿孔工程では、固定手段50によって固定されたプリフォーム1の端面に先端部42を接触させた後、軸方向と平行回転軸について先端部42を回転させる。そして、所定の速度で先端部42をプリフォーム1の内部に侵入させていくことにより、軸方向に沿って伸びる空孔30が形成される。線引工程では、加熱手段62によって加熱処理を行いながら、プリフォーム1の端部3を牽引手段61によって牽引することにより、光ファイバ2に線引きされる。このとき、圧力調整手段65により、圧力伝達手段64及び結合手段63を介してプリフォーム1の空孔30内の圧力が調整される。



(2)

特開2002-145634

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ファイバ軸と、このファイバ軸を囲む環状領域とを有し、この環状領域が前記ファイバ軸方向に沿って伸びる3以上の空孔を有する光ファイバを製造する方法であって、

一体構造のプリフォームを作製する作製工程と、

前記プリフォームの所定の軸に沿って伸びる3以上の空孔を、穿孔手段を用いて形成する穿孔工程と、

前記プリフォームの空孔の表面を清浄化する清浄化工程と、

前記プリフォームの空孔内に汚染物質が侵入することを防ぐ手段を備えた線引手段を用いて前記プリフォームを線引きする線引工程とを備えることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項2】 前記プリフォームの空孔の表面を平滑化する表面平滑化工程をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項3】 前記プリフォームの空孔内から汚染物質を除去する汚染物質除去工程をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項4】 前記表面平滑化工程の後に、前記プリフォームの空孔内から汚染物質を除去する汚染物質除去工程を備えることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項5】 前記作製工程において作製されるプリフォームは実質的にシリカガラスから形成され、その組成が当該プリフォーム内において実質的に一様であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項6】 前記作製工程において作製されるプリフォームは、前記軸方向に沿って伸びる第1の領域と、前記軸方向に垂直な任意の断面において前記第1の領域を包囲し、前記第1の領域よりも低い屈折率を有する第2の領域とを含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項7】 前記プリフォームの周囲にガラスを付加してプリフォーム径を増加させる増径工程をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項8】 前記線引工程では、圧力調整手段を用いて前記空孔内を大気圧より高い所定の圧力に設定した状態で、前記プリフォームを線引きすることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項9】 前記線引工程では、前記空孔の断面積を変化させながら前記プリフォームを線引きすることを特徴とする請求項8に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項10】 前記穿孔手段は、棒状の突起部を有し、

前記穿孔工程には、

前記プリフォームの環境温度を、前記プリフォームの空

孔が形成される領域を構成する材料の軟化点より高く、前記突起部の融点より低い第1の温度に設定する工程と、

前記第1の温度において前記突起部を前記プリフォームに挿入する工程と、

前記プリフォームの環境温度を、前記第1の温度より低い第2の温度に変更する工程と、

前記第2の温度に変更した後、又は、前記第2の温度に変更する直前に、前記突起部を前記プリフォームから引き抜く工程とを含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項11】 前記突起部は、実質的にカーボンから構成されることを特徴とする請求項10に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項12】 前記穿孔手段は、前記突起部を3以上有することを特徴とする請求項10に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項13】 前記線引工程では、前記プリフォームの空孔内に Cl_2 、 F_2 、 HF 、 CO のうち少なくとも一つのガスを充填して前記プリフォームを線引きすることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項14】 請求項1に記載の方法によって製造されたことを特徴とする光ファイバ。

【請求項15】 前記線引工程において、前記プリフォームの空孔は前記プリフォーム内で封止されていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項16】 前記穿孔手段は、穿孔器具と、前記穿孔器具とプリフォームとの少なくとも一つを運動させる運動手段と、前記プリフォームに形成される前記空孔の位置の情報と前記穿孔器具及び前記プリフォームの運動の情報とを蓄積する蓄積手段とを有し、前記穿孔工程において、前記蓄積手段に蓄積された各情報に基づいて前記運動手段を用いて前記空孔が形成されることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項17】 前記穿孔器具は中空部を有し、前記穿孔手段は前記中空部における切削屑の詰まりを検出する検出手段を備えていることを特徴とする請求項16に記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 USP 5,802,236には、次のような微細構造光ファイバが開示されている。すなわち、クラッド領域に包囲されたコア領域を有し、コア領域の実効屈折率がクラッド領域の実効屈折率より高く、ファイバ軸に沿って伸びる複数のクラッド特徴構造（例えば空孔等）がクラッド領域中に間隔をおいて配置され

(3)

特開2002-145634

4

3
た微細構造光ファイバである。このような微細構造光ファイバでは、空孔等の微細構造を導入することによって高い実効屈折率差を得ることができる。よって、このような微細構造光ファイバは、絶対値の大きな波長分散が得られるため分散補償に適すると共に、小さなモードフィールド径を実現できるため非線形光学効果の利用に適するといった特徴を有する。

【0003】また、このUSP 5,802,236では、微細構造光ファイバの製造方法として、次のようなパイプバンドル法が開示されている。すなわち、シリカ毛管の一端を封止し、これを高密度充填配置に束ねて管束バンドルとする。このとき、中心の毛管をシリカロッドで置換する。次に、シリカのオーバークラッド管を管束バンドル上に置き、これを管束バンドルへコラプスする。こうして得られたプリフォームを通常の線引炉の高温領域に入れて、毛管の非封止端を加熱してファイバに線引する。

【0004】さらに、WO00/16141では、所定の形状を有するロッドを組み合わせることによって、軸方向に沿った空孔を有するプリフォームを作製する方法が開示されている。この方法では、ロッド同士の間隙が空孔となるようにロッドの形状が選択される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ファイバ断面のある領域において領域面積に対する空孔面積の比率を空孔占有率と定義すると、上記のような微細構造光ファイバでは、波長分散やモードフィールド径に関して所望の特性を得るために、ファイバ断面における空孔占有率の分布を正確に制御することが重要である。より詳しくは、プリフォームからファイバへ線引する際に空孔占有率が変化しやすく、特に線引時における空孔内圧力に対して敏感であるため、ファイバ断面における空孔占有率を制御するには線引時における空孔内圧力を制御することが必要になる。

【0006】また、クラッド領域に空孔を導入し、半径方向の平均屈折率分布がひだ状となるようにすることにより、ブラッグ反射によってコアに光を閉じ込めることができる。この場合、空孔占有率の分布が乱れると閉じ込めが弱くなり、漏れによる伝送損失が生じるため、空孔占有率の制御が重要である。

【0007】しかしながら、従来のパイプバンドル法では、線引時の空孔内圧力を有効に制御することが困難であった。これは、パイプ自体が有する空孔のほかにパイプ同士の間隙による空孔が存在するためである。ここで、パイプ同士の間隙が残らないようにするには、パイプ自体が有する空孔のみに選択的に高い圧力をかける必要がある。上記のUSP 5,802,236では、パイプ自体が有する空孔を封止して線引する方法が採られたが、この方法では、パイプ自体が有する空孔内の圧力を制御することができなかった。

【0008】一方、パイプ同士の間隙を空孔として残すようにする場合には、パイプ自体が有する空孔とパイプ同士の間隙との両方に圧力を与えてもよいことになる。しかしながら、この場合には、パイプ同士の密着性の保持が困難であるのに加え、密着性が保たれないと、線引時に間隙の形状が変化し、場合によっては隣り合う間隙同士が結合してしまうこともあった。そのため、この場合でも、所望の径を有する空孔を形成することは困難であった。

【0009】また、上記のWO00/16141による方法でも、複数のロッドを組み合わせるためロッド同士の密着性の保持が困難であり、特に間隙に加わる圧力や線引温度が高い場合には、密着性の保持はいつそう困難になっていた。従って、この方法においても、空孔内の圧力を制御することができなかった。

【0010】さらに、空孔を有する光ファイバの製造方法においては、上記のような空孔内圧力のほか、線引時のプリフォームの粘度及び表面張力、線引張力並びに線引速度等の要因によって空孔の大きさが変化するため、従来技術には以下のような問題点もあった。すなわち、線引後の光ファイバの強度の向上や線引中のファイバ断線の防止には、線引温度を高くすることが望ましいが、温度を上げると線引時のプリフォームの粘度が下がり空孔がつぶれやすくなってしまう。そのため、線引温度を高くする場合には空孔内圧力を上昇させる必要があるが、上記のようにパイプやロッドを組み合わせてプリフォームを形成する従来技術では、そのパイプやロッド同士の間に間隙が生じ、上昇させた圧力がこれらの間隙にも加わり、パイプやロッドの配置を乱れさせる原因になっていた。

【0011】本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、空孔内の圧力を効果的に制御することが可能な光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る光ファイバの製造方法は、ファイバ軸と、このファイバ軸を囲む環状領域とを有し、この環状領域がファイバ軸方向に沿って伸びる3以上の空孔を有する光ファイバを製造する方法であって、一体構造のプリフォームを作製する作製工程と、プリフォームの所定の軸に沿って伸びる3以上の空孔を、穿孔手段を用いて形成する穿孔工程と、プリフォームの空孔の表面を消浄化する消浄化工程と、プリフォームの空孔内に汚染物質が侵入することを防ぐ手段を備えた線引手段を用いてプリフォームを線引きする線引工程とを備えることを特徴とする。

【0013】この発明によれば、まず、作製工程において、VAD法、MCVD法又はOVD法等の公知の方法を用いてプリフォームを作製する。次いで、穿孔工程において、軸方向に沿って伸びる空孔をプリフォームに形成する。この穿孔手段としては、例えばダイヤモンドの

(4)

特開2002-145634

5

刃先を有するドリル等が用いられ、プリフォームの所定の軸を囲む環状領域内に3個以上の空孔が形成される。通常、空孔表面には伝送損失を発生させる汚染物質が付着するため、清浄化工程においてこれら汚染物質を除去する。この清浄化の具体的手段としては、例えばフッ酸によるエッチング等が用いられる。そして、線引工程において、空孔が形成されたプリフォームの一端を加熱し、加熱された端部から線引きすることにより、軸方向に沿って伸びる空孔を有する光ファイバを製造する。この線引工程において用いられる線引手段には汚染物質の侵入を防ぐ手段が備えられている。こうして得られた光ファイバでは、3個以上の空孔によって囲まれた領域において、光を全反射又はブラッグ反射させて伝搬させることができる。

【0014】また、上記のように一体構造のプリフォームを作製すれば、従来技術において発生したパイプやロッドの間の間隙は発生せず、空孔内の圧力を効果的に制御することができ、所望の空孔占有率を有する光ファイバを容易に形成することができる。その結果、従来の微細構造光ファイバの製造方法に比べて、所望の光学特性を有する光ファイバを高い歩留まりで製造できる。従って、本発明によれば、高精度の屈折率分布が要求されるブラッグ反射導波型の光ファイバも好適に製造できる。

【0015】また、パイプやロッドの間の狭い間隙が発生しないため、清浄化工程において汚染物質を効果的に空孔内から除去することができ、その結果、伝送損失が低い光ファイバを製造することができる。

【0016】さらに、従来技術のように多数のパイプやロッドを所定の配置で組み合わせるのは作業の手間が大きく、再現性が悪いのに対し、本発明では、組み合わせる作業を含まないため、作業の手間が省けると共に再現性をよくすることができる。

【0017】請求項2に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明において、プリフォームの空孔の表面を平滑化する表面平滑化工程をさらに備えることを特徴とする。

【0018】この発明によれば、光ファイバの空孔表面の凹凸が発生することを防止できるため、散乱による伝送損失を低減できる。また、空孔内の凹凸が除去されて表面積が減少する結果、空孔表面に付着する汚染物質が減少し、汚染物質に起因する伝送損失も低減できる。さらに、従来技術におけるパイプやロッドの狭い間隙の表面の平滑化は困難であったのに対し、穿孔手段を用いる本発明ではこうした間隙が存在しないため、表面の平滑化を効果的に行なうことができる。なお、表面平滑化工程の具体例としては、例えば、SF₆ガスによるエッチングやヤスリ状器具を用いた表面摩擦等によって空孔内の凹凸が除去される。

【0019】請求項3に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明において、プリフォームの空孔内が

6

ら汚染物質を除去する汚染物質除去工程をさらに備えることを特徴とする。

【0020】この発明によれば、汚染物質に起因する光ファイバの伝送損失を低減できる。また、従来技術におけるパイプやロッドの狭い間隙内の汚染物質の除去は困難であったのに対し、穿孔手段を用いる本発明ではこうした間隙が存在しないため、汚染物質の除去を効果的に行なうことができる。なお、汚染物質除去工程の具体例としては、例えば、真空ポンプ等の吸引手段を用いて空孔内の密度を減少させる工程と、空孔内にN₂等の清浄な不活性気体を充填する工程とを交互に繰り返すことによって、空孔内に存在する水蒸気等の汚染物質が除去される。

【0021】請求項4に係る光ファイバの製造方法は、請求項2に係る発明の表面平滑化工程の後に、プリフォームの空孔内から汚染物質を除去する汚染物質除去工程を備えることを特徴とする。

【0022】プリフォームの空孔内の空間に存在する汚染物質の除去効率は、汚染物質が空孔表面に付着することにより低下してしまう。そのため、この発明のように、表面平滑化工程により表面を平滑化して表面積を減少させた後に汚染物質除去工程を行なえば、汚染物質の除去を効果的に行なうことができる。

【0023】請求項5に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明の作製工程において作製されるプリフォームが実質的にシリカガラスから形成され、その組成が当該プリフォーム内において実質的に一様であることを特徴とする。

【0024】通常、シリカガラスの熱膨張率は不純物の添加等によって変化するため、不純物が添加された領域では応力が残存する。そのため、穿孔工程や切断等の加工工程において加わる機械的外力によってプリフォームが割れることがしばしば生じ、歩留まりの低下の原因となる。この発明のように、実質的に一様な組成でプリフォームを作製すれば、プリフォームが割れる等のおそれがなく、歩留まりを向上できる。

【0025】請求項6に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明の作製工程において作製されるプリフォームが、軸方向に沿って伸びる第1の領域と、軸方向に垂直な任意の断面において第1の領域を包囲し、第1の領域よりも低い屈折率を有する第2の領域とを含むことを特徴とする。

【0026】このようにプリフォームを作製すれば、線引後の光ファイバは、空孔の有無によらず、高屈折率のコア領域とそのコア領域を囲む低屈折率のクラッド領域とを有することになる。その結果、融着接続等の際にファイバが融解されて空孔がつぶれた場合にも、ファイバが光導波特性を保持することになり、低損失の融着接続を行うことができる。

【0027】また、この構成において、第1の領域は、

50

(5)

特開2002-145634

8

軸方向に垂直な任意の断面において、マッチドクラッド、ディプレストクラッド、リングコア、セグメントコア及びリング付きディプレストグラッドのいずれかの屈折率プロファイルを有することができ、孔の有無によらず光導波を実現させることができる。このように、屈折率プロファイルによって光導波性能の一部を担わせる結果、空孔形状及び空孔位置に関する要求精度が軽減される。

【0028】請求項7に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明のプリフォームの周囲にガラスを付加してプリフォーム径を増加させる増径工程をさらに備えることを特徴とする。

【0029】光ファイバに形成する空孔径を小さくすることによって、外部から空孔内への汚染物質の侵入や空孔内での汚染物質の拡散を抑制し、かつ、より短い波長帯で光ファイバを動作させることができるが、穿孔手段によってプリフォームに形成できる空孔の大きさには技術上の制約による下限が存在する。この発明のように、プリフォームの周囲にガラスを付加してプリフォーム径を増加させれば、空孔径に比してプリフォーム径を大きくすることができるため、ファイバ径が一定となるように線引きすれば、径がより小さな空孔を有する光ファイバを形成することができる。なお、増径工程の具体例としては、プリフォームにジャケット管をコラプスする手法や、プリフォームの外周に堆積させたガラス粒子を焼結する手法により、プリフォーム径が増加される。

【0030】請求項8に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明の線引工程において、圧力調整手段を用いて空孔内を大気圧より高い所定の圧力に設定した状態で、プリフォームを線引きすることを特徴とする。

【0031】通常の線引工程では、プリフォームは大気圧下に置かれるが、このように空孔内の圧力を大気圧よりも高くすれば、線引時に空孔がつぶれることを防止できる。また、本請求項に係る発明では、穿孔手段を用いて形成された以外の空孔や間隙は存在しないため、圧力調整による空孔径の調整を効果的に行なうことができる。

【0032】また、圧力調整により空孔径を制御することで、波長分散等の光学特性を制御することができる。そのため、同一のプリフォームから特性の異なる複数の光ファイバを製造できるようになる。

【0033】請求項9に係る光ファイバの製造方法は、請求項8に係る発明の線引工程において、空孔の断面積を変化させながらプリフォームを線引きすることを特徴とする。

【0034】このようにすれば、空孔の径が長手方向に変化した光ファイバを製造することができる。空孔の径を長手方向に変化させると、以下のような利点が生じる。第1の利点は、波長分散を長手方向に変化させることが可能な点である。光伝送路の一形態として、四光波

混合による伝送品質劣化を抑制するために局所的な波長分散の絶対値を所定の値より大きくし、残留分散による伝送品質劣化を抑制するために伝送路全体での正味の波長分散の絶対値を小さくした伝送路が用いられるが、このような伝送路を構成するには波長分散を長手方向に変化させる必要がある。従って、本請求項に係る発明は、このような伝送路の製造に好適である。

【0035】第2の利点は、空孔を外気から隔離することが可能な点である。空孔の径がゼロとなるファイバ区間を設けることにより、外気に対して閉じている空孔をファイバ内に形成することができ、外気からの汚染物質侵入による損失の発生を防止できる。また、伝送路構成部品等との接続の際にも、空孔径がゼロの区間を端面付近に形成することにより、接続作業時に空孔内に汚染物質が侵入することを防止できる。

【0036】請求項10に係る光ファイバの製造方法は、上記穿孔手段が、棒状の突起部を有し、請求項1に係る発明の穿孔工程に、プリフォームの環境温度を、プリフォームの空孔が形成される領域を構成する材料の軟化点より高く、突起部の融点より低い第1の温度に設定する工程と、第1の温度において突起部をプリフォームに挿入する工程と、プリフォームの環境温度を、第1の温度より低い第2の温度に変更する工程と、第2の温度に変更した後、又は、第2の温度に変更する直前に、突起部をプリフォームから引き抜く工程とを含むことを特徴とする。

【0037】このようにすれば、空孔形成時のプリフォーム粘度が低いので、棒状の突起部を回転等させることなくプリフォームに挿入するだけで空孔を形成でき、加工に要する機械的エネルギーが少なく済む。そのため、細く深い空孔を形成する際にも、穿孔手段に加わる負荷が少なく穿孔手段が破損するおそれがないので、こうした細く深い空孔も容易に形成することができる。また、加工時の粘度が低いため、空孔内面に凹凸が生じにくく、その結果、空孔径の軸方向についての不均一性が少ない光ファイバを製造できる。

【0038】請求項11に係る光ファイバの製造方法は、請求項10に係る発明の穿孔手段の突起部が、実質的にカーボンから構成されることを特徴とする。

【0039】このように、突起部の構成材料を、シリカガラスの粘度が低くなる1500℃～2000℃程度の温度において安定な強度を有するカーボンとすれば、空孔の形成を安定的に行うことができる。

【0040】請求項12に係る光ファイバの製造方法は、請求項10に係る発明の穿孔手段が、突起部を3以上有することを特徴とする。

【0041】このように、3以上の突起部を有する穿孔手段を用いれば、3個以上の空孔を一度に形成できるため、穿孔時間を短くし、製造コストを低減することができる。また、穿孔手段を移動させながら空孔を1つずつ

(6)

特開2002-145634

10

9

形成する場合と比較して、空孔の位置精度を高くすることができる。

【0042】請求項13に係る光ファイバの製造方法は、請求項1に係る発明の線引工程において、プリフォームの空孔内に Cl_2 、 F_2 、HF、COのうち少なくとも一つのガスを充填してプリフォームを線引きすることを特徴とする。

【0043】このように空孔内に Cl_2 、 F_2 、HF、COのうち少なくとも一つのガスを充填してプリフォームを線引きすることにより、空孔表面に付着したOH基及び空孔内部に存在する水を除去することができ、低い伝送損失の光ファイバを製造できる。又、プリフォームの空孔内から汚染物質を除去する汚染物質除去工程との組み合わせにより、従来技術と異なりパイプやロッドの狭い隙間が存在せず、汚染物質の除去をより効果的に行うことができる。

【0044】請求項14に係る光ファイバは、請求項1に記載の方法によって製造されたことを特徴とする。

【0045】これらの方法によって製造された光ファイバは、軸方向に沿う空孔が形成されたことによって、絶対値の大きな波長分散や、大きい又は小さいモード径等の有利な特性を実現できる。

【0046】また、従来技術に比べて空孔表面や空孔内の空間から汚染物質を効果的に除去することができるため、低い伝送損失を実現できる。さらに、圧力制御による空孔径の制御を効果的に行なえるため、プリフォーム粘度を下げた状態でも空孔をつぶすことなく線引きでき、線引温度を高めることによってファイバ強度を向上させることもできる。

【0047】請求項15に係る光ファイバの製造方法は、線引工程において、プリフォームの空孔はプリフォーム内で封止されていることを特徴とする。

【0048】こうすることで、外部から空孔内への汚染物質の侵入を阻止することができ、伝送損失の低い光ファイバの実現が可能となる。更に、従来のような個々のパイプの空孔を封止する方法とは異なり、プリフォームが有する複数の空孔を一度に閉じることができるため、従来技術と比して製造が容易になる。

【0049】請求項16に係る光ファイバの製造方法は、穿孔手段は、穿孔器具と、穿孔器具とプリフォームとの少なくとも一つを運動させる運動手段と、プリフォームに形成される空孔の位置の情報と穿孔器具及びプリフォームの運動の情報とを蓄積する蓄積手段とを有し、穿孔工程において、蓄積手段に蓄積された各情報に基づいて運動手段を用いて空孔が形成されることを特徴とする。

【0050】本発明の製造方法によれば、パイプやロッドを配列してプリフォームを形成する従来技術と比して製造を自動化することが容易であり、製造の自動化によって製造コストの著しい低減を図ることができる。ま

た、製造を自動化することにより、従来技術と比べて空孔の位置や寸法に関する再現性が高いため、光ファイバの特性を高い確度で実現することが可能となり、歩留まりを著しく向上させることができる。

【0051】請求項17に係る光ファイバの製造方法は、穿孔器具は中空部を有し、穿孔手段は中空部における切削屑の詰まりを検出する検出手段を備えていることを特徴とする。

【0052】このように穿孔手段に検出手段を備えることにより、穿孔器具における切削屑の詰まりを容易に認識させ、製造不良の発生やそれによる機械の停止、および穿孔手段やプリフォームや機械等の破損等の低減を図ることができる。

【0053】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しながら、本発明に係る光ファイバの製造方法の実施の形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一又は相当要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【0054】（第1の実施の形態）図1は、第1の実施の形態におけるプリフォーム1の断面図である。このプリフォーム1は、円柱状に作製されており、高屈折率のコア10と低屈折率のクラッド20とを有する。コア10はGeが添加されたシリカガラス、クラッド20は純粋なシリカガラスによってそれぞれ形成されている。また、このプリフォーム1は、軸方向に一樣な構造であり、軸方向に沿って伸びる3個以上（図1においては4個）の空孔30を有する。なお、コア10は、ステップ型のマッチクラッドの屈折率プロファイルを有している。

【0055】このプリフォーム1の構造パラメータは以下の通りである。すなわち、プリフォーム1の外径は3.6mm、コア10の径は2.2mm、コア10の比屈折率差は0.323%である。また、空孔30は円形で、その径は3.0mmであり、4個の空孔30は、コア10を中心とした半径3.1mmの円周上に実質的に等間隔で配置されている。

【0056】また、7.2mmの外径と、4.4mmのコア径と、0.323%の比屈折率差とを有するプリフォームを作成し、このプリフォームに6.0mmの径を有する空孔を、コア10を中心とする半径6.2mmの円周上に実質的に等間隔で形成したのち、このプリフォームを3.6mmの外径に延伸して形成するとより好ましい。このようにして形成することで、延伸時の表面張力により空孔の表面が平滑化され、SF₆ガスでのエッチングによる表面平滑化に必要なエッチング量が低減される。その結果、エッチング量のばらつきに起因するファイバ構造のばらつきが低減され、製造歩留まりを向上できると同時に、エッチングに要する時間を短縮して製造コストを低減できる。

【0057】本実施の形態では、作製工程においてVA D法、MCVD法又はOVD法等を用いてプリフォーム1が作製された後、図2に示す穿孔工程において空孔30が形成される。

【0058】穿孔工程では、図3に示すような穿孔器具40が用いられる。この穿孔器具40は、棒状の突起部41を有し、突起部41の先端にはダイヤモンドや超硬合金等からなる先端部42が設けられており、突起部41及び先端部42は軸に沿って伸び、穿孔器具40を貫通する中空部43を有する。空孔30を形成する際には、固定手段50によって固定されたプリフォーム1の端面に先端部42を接触させた後、電源等（図示せず）からの電力供給により、プリフォーム1の軸方向と平行な回転軸について先端部42を回転させる。そして、所定の速度で先端部42をプリフォーム1の内部に侵入させていくことにより、軸方向に沿って伸びる空孔30が形成される。また、超音波発生手段（図示せず）によって発生させた超音波を穿孔器具40に伝搬させることにより、空孔の形成を促進することができる。更に、突起部41及び先端部42の中空部43に水等の液体を流すことで切削屑の排出が促進され、プリフォーム1と穿孔器具40の間に存在する切削屑による穿孔器具の滑りを低減させることができるため、切削速度の向上を図ることができる。また、後の清浄化工程や平滑化工程を行うために空孔30がプリフォーム1を貫通していることが有効であるが、空孔30がプリフォーム1を貫通していない場合においても、空孔30の形成後にプリフォーム1を切断することで、空孔30によって貫通されたプリフォーム1を形成することができる。

【0059】また、穿孔工程では自動機械を用いることがより好ましい。このような自動機械は、穿孔器具40とプリフォーム1との少なくとも一つを運動させる運動手段、及びプリフォーム1に形成される空孔30の位置の情報と穿孔器具及びプリフォーム1の運動の情報とを蓄積する蓄積手段とを有する。自動機械はこれらの情報に基づいて空孔30を形成する。これにより、光ファイバの構造と特性を高い再現性で実現することが可能となる。自動機械によって空孔30の形成を行う場合、製造コストを削減するには、不良の発生やそれによる機械の停止及び穿孔器具や機械の破損の可能性を低減することが必要である。不良が発生する主要な原因の一つとして、穿孔器具40の中空部43に切削屑が詰まり、中空部43における液体の流れを妨げ、切削屑の排出を阻害することがある。これを防止するために、穿孔器具40における詰まりを検出する手段が備えられていることが好ましい。詰まりの検出は、例えば、中空部43に流す液体の流量と液体供給側での液体の圧力を測定すると、詰まりが発生した場合に圧力と流量の比が所定値を越えることを利用して行うことができる。詰まりが検出された場合は、自動機械を停止して穿孔器具40を交換する

か、針状の詰まり除去手段を用いて詰まりを除去するなどの措置をとることにより、不良を発生させることなく空孔の形成を行うことができる。

【0060】また、穿孔工程では、先端部42とプリフォーム1の両者を互いに平行な軸の周りに回転させることが好ましい。それによって、プリフォーム1の軸に対する空孔30の曲がりを抑制することができる。空孔30の曲がりは、光ファイバ断面図において空孔位置の設計からのズレを生じさせるため、波長分散や複屈折等の光学特性の設計からのズレを生じさせる。穿孔工程における空孔30の曲がりを抑制することにより、光ファイバの光学特性を高い再現性で実現することができる。

【0061】更に、穿孔工程では、図4に示すように、プリフォーム1の軸方向の長さの半分の長さを有する空孔30を、プリフォーム1の両端から形成することが好ましい。一般に、穿孔器具40の長さとの比が大きくなるのに伴って、穿孔器具40の製造が困難になる。穿孔器具40における切削屑の詰まりが発生しやすくなる、空孔の曲がりが発生しやすくなる等の問題が生じやすくなる。プリフォーム1の両端から空孔30を形成することにより、必要な穿孔器具40の長さを半分に抑えることができるため、上に言及したような問題が生じにくくなり、製造が容易となる。

【0062】また、穿孔工程の後にプリフォーム1の延伸やSF₆ガスによる空孔表面のエッチングを行う場合、プリフォーム1にガラス管などを接続する必要があるがしばしば生じる。このとき、ガラス管及びプリフォーム1の端部を加熱して融解させる必要があるが、融解に伴ってプリフォーム構造が失われて光ファイバとして使用できなくなる部分が生じたり、空孔が塞がってSF₆ガスによるエッチングが行えなくなるなどの問題が生じる。これを避けるために、図4に示すように、プリフォーム1の端部から所定の長さにならって中空部31を設け、この中空部31に穿孔器具40の少なくとも一部を収容しながらプリフォーム1に空孔30を形成することが好ましい。

【0063】空孔30が形成されたプリフォーム1は、バブリングされた10%のフッ酸中に2時間浸される。この清浄化工程の後、SF₆ガスを用いたエッチングによって空孔30内面の凹凸が除去される。また、この表面平滑化工程の後、空孔30の一方の端部が封止され、真空ポンプを用いて空孔30内の気体を吸引する工程と、空孔30内にN₂ガスを充填する工程とを交互に繰り返すことによって、空孔30内の汚染物質が除去される。次いで、図5に示す線引工程においてプリフォーム1が線引きされる。

【0064】線引工程では、プリフォーム1の一端を結合手段63によって保持すると共に、加熱手段62によって加熱処理を行いながら、空孔30が封止されたプリフォーム1の端部3を牽引手段61によって牽引するこ

(8)

13

とにより、外径 $125\mu\text{m}$ の光ファイバ2に線引きされる。このとき、圧力調整手段65により、圧力伝達手段64及び結合手段63を介してプリフォーム1の空孔30内の圧力が調整される(本実施の形態では、空孔30内の大気圧に対する圧力差が 0.4kPa に保たれる)。こうして、外径 $10\mu\text{m}$ 程度の空孔を有する光ファイバ2を製造することができる。なお、空孔30内の圧力を大気圧として線引きを行った比較例では、光ファイバ2内の空孔30はつぶれてなくなってしまった。

【0065】また、図6に示すように、線引工程ではプリフォーム81に含まれる空孔80を両端において封止しても良い。この場合、加熱手段82の寸法と加熱温度とを、プリフォーム81の寸法及び材料と空孔80の寸法とに於いた所定の値に設定することにより、光ファイバ84の内部に空孔80が含まれた状態で線引を行うことができる。更に、加熱手段82の加熱温度と牽引手段83の線引速度とによって、光ファイバ84の内部に含まれる空孔80の寸法を調整することが可能である。

【0066】以上説明のように、本実施の形態に係る光ファイバの製造方法によれば、空孔内の圧力を効果的に制御することができ、所望の空孔占有率を有する光ファイバを容易に形成することができる。また、従来技術のように多数のパイプやロッドを所定の配置で組み合わせる作業を含まないため、作業の手間が省けると共に再現性をよくすることができる。さらに、パイプやロッドを組み合わせる従来技術において生じるパイプやロッドの間の間隙がないため、汚染物質の除去や線引時の圧力制御を効果的に行なうことができる。

【0067】なお、第1の実施の形態では、コア10はシリカガラスにGeが添加されたものであるが、コア10をクラッド20と同じく純粋なシリカガラスから構成してもよい。このようにすれば、熱膨張率の整合性という利点がある。すなわち、ファイバ媒質の熱膨張率は不純物の添加等によって変化するため、不純物が添加された領域では応力が残存する。そのため、穿孔工程や切断等の加工工程において加わる機械的外力によってプリフォームが割れることがしばしば生じ、歩留まりの低下の原因となるが、コア10とクラッド20とを一樣な組成とすれば、プリフォームが割れる等のおそれがなく、歩留まりを向上できる。

【0068】また、線引工程の際に、圧力調整手段65により、空孔30内の圧力を変化させることによって、長手方向に空孔の径が変化した光ファイバを製造することもできる。これにより、長手方向に波長分散が変化する構造や、外気から隔離された空孔を有する構造の光ファイバを実現できる。前者の構造は、伝送損失劣化の要因である累積分散や四光波混合を抑制するのに効果的であり、後者の構造は、ファイバ接続作業時の空孔内汚染による伝送損失増大の防止に効果的である。

【0069】また、線引工程の際に、空孔30内にC1

特開2002-145634

14

F_2 ガス、 F_2 ガス、HFガス、COガスのうち少なくとも一つを充填して線引きすることも好適である。これにより、空孔30表面に付着したOH基及び空孔30内部に存在する水を除去することができ、低い伝送損失の光ファイバを製造できる。

【0070】(第2の実施の形態) 図7は、第2の実施の形態における光ファイバ2bの断面図であり、この光ファイバ2bは、第1の実施の形態と同様の方法を用いてプリフォームから製造されたものである。この光ファイバ2bは、高屈折率のコア10bと低屈折率のクラッド20bとを有し、コア10bはGeが添加されたシリカガラス、クラッド20bは純粋なシリカガラスによってそれぞれ形成されている。また、この光ファイバ2bは、軸方向に一樣な構造であり、軸方向に沿って伸びる3個以上(図7においては8個)の空孔30bをコア10b内に有する。なお、コア10bは、ステップ型のマルチクラッドの屈折率プロファイルを有している。

【0071】この光ファイバ2bの構造パラメータは以下の通りである。すなわち、光ファイバ2bの外径は $125\mu\text{m}$ 、コア10bの径は $5.84\mu\text{m}$ 、コア10bの比屈折率差は 1.47% である。また、空孔30bは円形で、その径は $0.43\mu\text{m}$ であり、8個の空孔30bは、半径 $1.97\mu\text{m}$ の円周上に等間隔で配置されている。

【0072】図8は、このような構造として得られた光ファイバ2bの特性を示すグラフである。同図に示すように、波長 1550nm において、実効コア断面積 $30\mu\text{m}^2$ であり、 -164ps/nm/km と絶対値の大きな波長分散が実現できる。

【0073】(第3の実施の形態) 本実施の形態でも、作製工程において、第1の実施の形態と同様にプリフォーム1cが作製された後、穿孔工程において空孔30cが形成される。本実施の形態における穿孔工程では、図9に示すような穿孔器具40cが用いられる。この穿孔器具40cは、プリフォームを構成するシリカガラスの軟化点より融点が高いカーボンからなる棒状の突起部41cを3本以上(本実施の形態では6本)有している。

【0074】穿孔工程では、図10に示すように、まず、固定手段50cによってプリフォーム1cを固定し、加熱手段62cによってプリフォーム1cをその軟化点より高くカーボンの融点より低い温度に加熱する。プリフォーム1cの粘度が低下した後、突起部41cの先端をプリフォーム1cの端面に接触させ、所定の速度でプリフォーム1cの内部に侵入させる。そして、侵入させた突起部41cを引き抜くことによって軸方向に沿って伸びる空孔30cが形成される。プリフォーム1cの粘度が低いため、このままでは空孔30cが変形しやすくなってしまうが、突起部41cを引き抜く前、又は、引き抜いた直後に、加熱手段62cによる加熱温度をプリフォーム1cの軟化点より低い温度に変更するこ

(9)

特開2002-145634

16

15
とにより、空孔30cをプリフォーム1c内に定着させることができる。

【0075】こうして空孔30cが形成されたプリフォーム1cは、第1の実施の形態と同様の線引工程においてプリフォーム1の線引処理が行われ、空孔を有する光ファイバが得られる。以上説明のように、本実施の形態に係る光ファイバの製造方法によっても、軸方向に沿った空孔を有する光ファイバを容易に形成することができる。

【0076】なお、穿孔器具40cにおける突起部41cの配置や形状を適切に設計することにより、所望の分布や形状を有する空孔をプリフォームに形成できるため、例えば図11及び図12に示すような空孔をプリフォームに形成することも可能になる。図11及び図12に示すプリフォーム1d及び1eでは、径方向の平均屈折率が円柱波を反射するように空孔30d及び30eが分布しているため、これらを線引きした光ファイバでは、ブラッグ反射によって光をコア10d及び10eに閉じ込めて伝搬させることができる。ブラッグ反射による閉じ込めは、全反射による閉じ込めの場合と異なり、コアの屈折率に制約を受けないため、コアを空洞として設計することもできる。コアを空洞とした光ファイバは、非線型光学効果が生じないため、大きなパワーの光を伝達することが可能である。

【0077】また、線引工程の前に、プリフォーム径を増大させる処理を行い、この処理の前後にプリフォームを延伸することによって、空孔径がより小さなファイバを製造することができる。すなわち、プリフォーム径を増大させればプリフォーム径に対する空孔径の比が小さくなるため、線引処理後のファイバ径に対する空孔径の比も小さくすることができる。プリフォーム径を増大させる処理の具体例としては、プリフォームをジャケット管に入れてそのジャケット管をプリフォームにコラプスする方法や、プリフォームの外周にガラス粒子を堆積してそのガラス粒子を焼結する方法が用いられる。このように空孔径を小さくすることにより、光ファイバを短波長領域で動作させることができると共に、空孔内に汚染物質が侵入する確率を下げる可以降低ことができる等の利点がある。

【0078】なお、本発明に係る光ファイバの製造方法は、上記実施の形態に記載の態様に限定されるものではなく、他の条件等に応じて種々の変形態様を採ることが可能である。例えば、上記第1の実施の形態では、穿孔器具の先端部を固定されたプリフォーム上で回転させることによって空孔を形成したが、逆に、先端部を固定してプリフォームを回転させる構成を採ることもできる。

【0079】

【発明の効果】本発明に係る光ファイバの製造方法によれば、従来技術において発生したパイプやロッドの間の間隙は発生せず、空孔内の圧力を効果的に制御すること

ができ、所望の空孔占有率を有する光ファイバを容易に形成することができる。その結果、所望の光学特性を有する光ファイバを高い歩留まりで製造することができ、高精度の屈折率分布が要求されるブラッグ反射導波型の光ファイバも好適に製造できる。

【0080】また、パイプやロッドを組み合わせる作業を含まないため、作業の手間が省けると共に再現性をよくすることができる。

【0081】また、パイプやロッドの間の狭い間隙が存在しないため、プリフォームからの汚染物質の除去を効果的に行なうことができ、その結果、従来技術に比べて伝送損失の低い光ファイバを製造できる。

【0082】また、実質的に一様な組成でプリフォームを作製することによって、プリフォームが割れる等のおそれがなく、歩留まりを向上できる。

【0083】また、高屈折率の第1の領域とその第1の領域を囲む低屈折率の第2の領域とを有するプリフォームを作製することによって、融着接続等の際にファイバが融解されて空孔がつぶれた場合にもファイバが光導波特性を保持することになり、低損失の融着接続を行うことができる。

【0084】また、既存の実績ある光ファイバ製造方法との整合性がよいため、第1の領域が屈折率プロファイルを有するようにプリフォームを作製することもできる。屈折率プロファイルによって光導波性能の一部を担わせる結果、空孔形状及び空孔位置に関する要求精度を軽減することができる。

【0085】また、穿孔工程における温度制御を行なうことによって、空孔の形成を容易に行なうことができ、加工に要する機械的エネルギーが少なく済む。そのため、細く深い空孔を形成する際にも、穿孔器具に加わる負荷が少なく穿孔器具が破損するおそれが低いので、こうした細く深い空孔も容易に形成することができる。さらに、空孔内面に凹凸が生じにくく、空孔径の軸方向についての不均一性が少ない光ファイバを製造できる。

【0086】また、穿孔器具の突起部の構成材料を、シリカガラスの粘度が低くなる1500℃～2000℃程度の温度において安定な強度を有するカーボンとすれば、空孔の形成を安定的に行うことができる。

【0087】また、3以上の突起部を有する穿孔器具を用いることによって、3個以上の空孔を一度に形成できるため、穿孔時間を短くし、製造コストを低減することができる。また、穿孔器具を移動させながら空孔を1つずつ形成する場合と比較して、空孔の位置精度を高くすることができる。

【0088】また、線引工程の前に、プリフォーム径を増大させる処理を行なうことによって、ファイバ径に比べて径の小さい空孔を容易に形成できる。その結果、外部から空孔内への汚染物質の浸入や空孔内での汚染物質の拡散を抑制すると共に、より短い波長帯で動作する光

50

(10)

特開2002-145634

18

17

ファイバを製造することができる。

【0089】また、空孔内の圧力を大気圧よりも高くすることによって、線引時に空孔がつぶれることを防止できる。また、穿孔器具を用いて形成された以外の空孔や間隙は存在しないため、圧力調整による空孔径の調整を効果的に行なうことができる。さらに、圧力調整により空孔径を制御することで、波長分散等の光学特性を制御することができるため、同一のプリフォームから特性の異なる複数の光ファイバを製造できる。

【0090】また、空孔の径が長手方向に変化した光ファイバを製造することによって、波長分散を長手方向に変化させることができると共に、空孔を外気から隔離することができる。

【0091】また、上記のようにして製造された光ファイバは、軸方向に沿う空孔が形成されたことによって、絶対値の大きな波長分散や、大きい又は小さいモード径等の有利な特性を実現できる。また、従来技術に比べて空孔表面や空孔内の空間から汚染物質を効果的に除去することができるため、低い伝送損失を実現できる。さらに、圧力制御による空孔径の制御を効果的に行なえるため、プリフォーム粘度を下げた状態でも空孔をつぶすことなく線引きでき、線引温度を高めることによってファイバ強度を向上させることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態におけるプリフォームの断面図である。

【図2】第1の実施の形態における穿孔工程を説明する図である。

【図3】第1の実施の形態における穿孔器具の斜視図で

ある。

【図4】第1の実施の形態における他の穿孔工程を示す断面図である。

【図5】第1の実施の形態における線引工程を説明する図である。

【図6】第1の実施の形態における他の線引工程を説明する図である。

【図7】第2の実施の形態における光ファイバの断面図である。

【図8】第2の実施の形態における光ファイバの特性を示すグラフである。

【図9】第3の実施の形態における穿孔器具の斜視図である。

【図10】第3の実施の形態における穿孔工程を説明する図である。

【図11】ブラッグ反射閉じ込めを実現できるように空孔が配置されたプリフォームの断面図である。

【図12】ブラッグ反射閉じ込めを実現できるように空孔が配置されたプリフォームの断面図である。

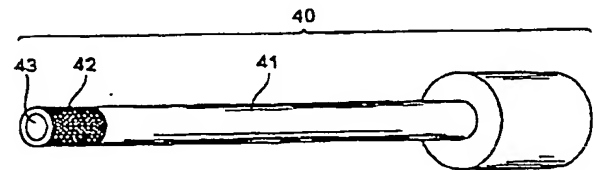
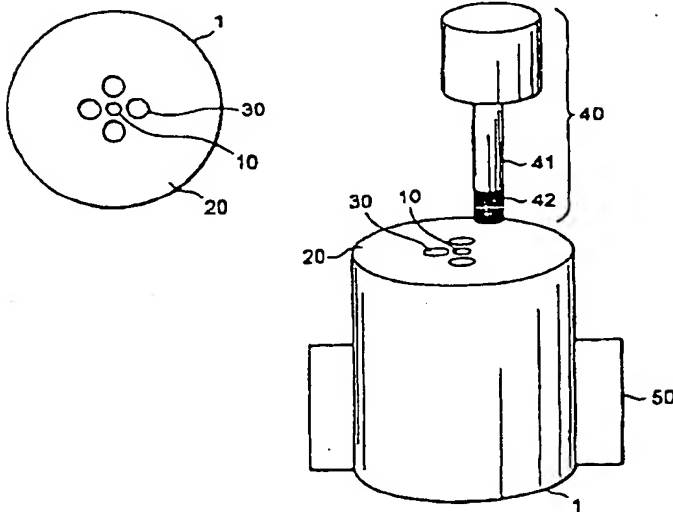
【符号の説明】

1…プリフォーム、2…光ファイバ、3…封止端、10…コア、20…クラッド、30…空孔、31…中空部、40…穿孔器具、41…突起部、43…中空部、42…先端部、50…固定手段、61…牽引手段、62…加熱手段、63…結合手段、64…圧力伝達手段、65…圧力調整手段、80…空孔、81…プリフォーム、82…加熱手段、83…牽引手段、84…光ファイバ、85…封止端。

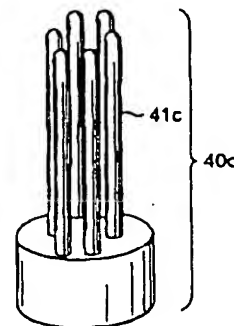
【図1】

【図2】

【図3】



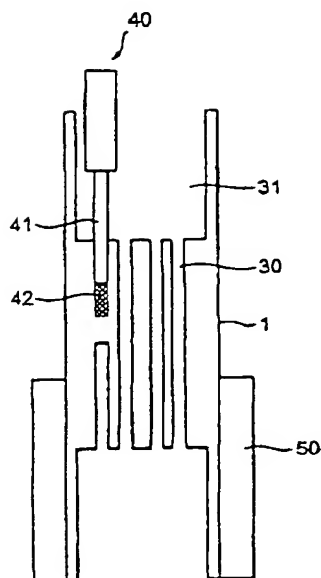
【図9】



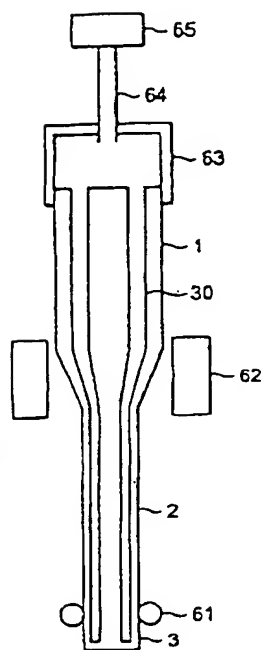
(11)

特開2002-145634

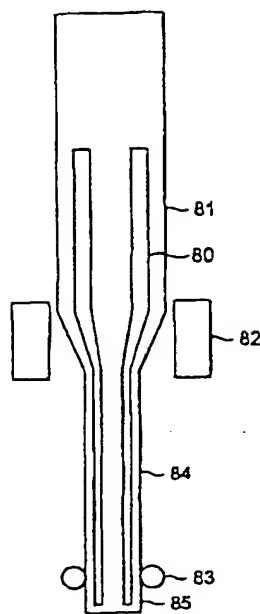
【図4】



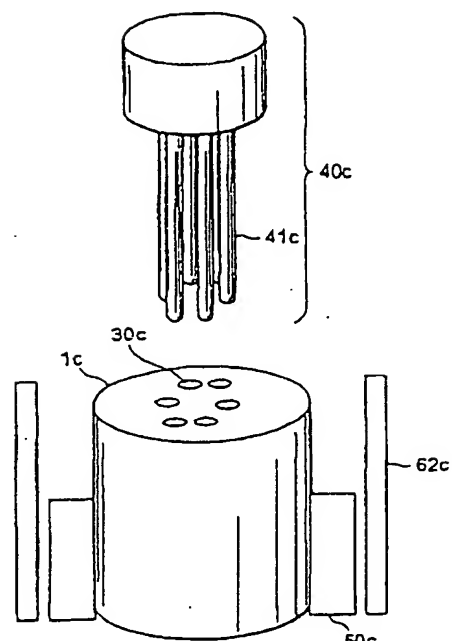
【図5】



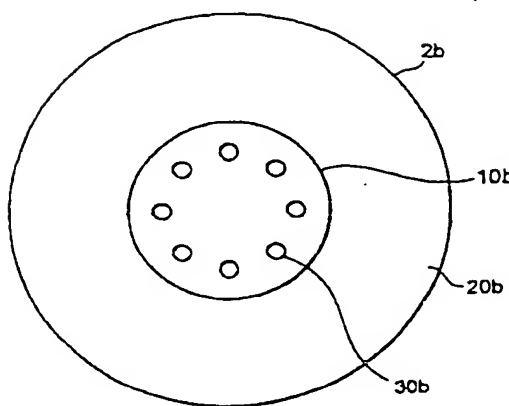
【図6】



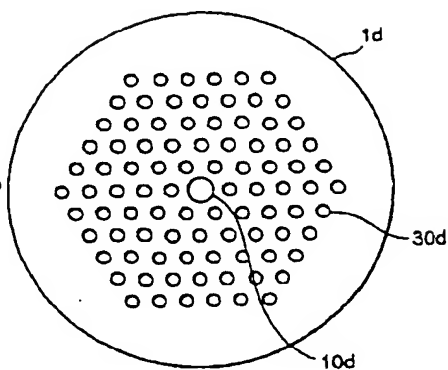
【図10】



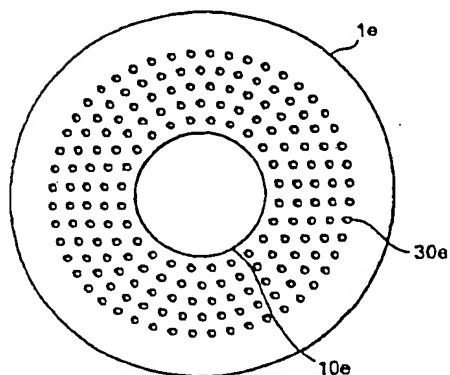
【図7】



【図11】



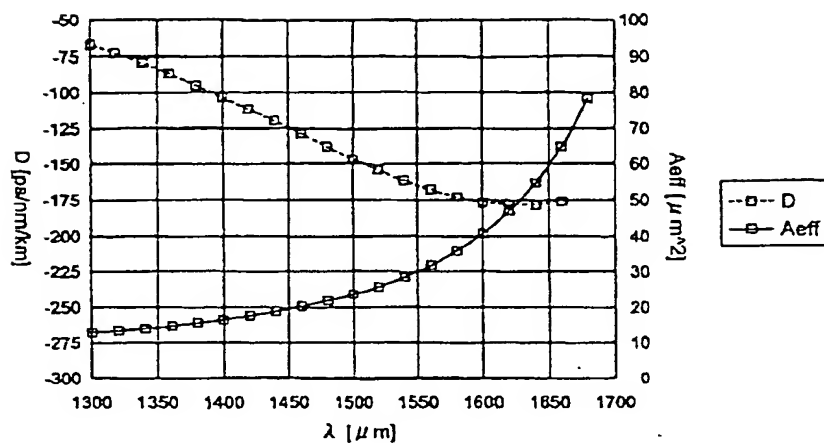
【図12】



(12)

特開2002-145634

【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 笹岡 英資
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 西村 正幸
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

Fターム(参考) 2H050 AA03 AA04 AB02Z AB18Y
AC34 AC62
4G021 BA00 CA16 HA05

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.